

## การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมระบบปกคลุมดินแบบธรรมชาติสำหรับลาดเหนือคันทาง

### กรณีศึกษาลาดเหนือคันทางทล. 1192

#### Investigating Performance of Nature-based Soil Cover System for Back Slope:

#### a Case Study of Back Slope of Highway No. 1192

อภินิติ โชติสังกาศ<sup>1\*</sup>, บวรพงศ์ สุขเจริญ<sup>2</sup>, วชิรวิติ ประภัสสร<sup>2</sup>, ทีเชลล์ สนวนบุรี<sup>3</sup>, และ อัครพัฒน์ สว่างสุริย์<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup> บริษัท กรีนกราวด์โซลูชั่นส์ จำกัด จ.กรุงเทพมหานคร

<sup>3</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

<sup>4</sup> สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง จ.กรุงเทพมหานคร

\*Corresponding author; E-mail address: fengatj@ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปัญหาการกัดเซาะลาดเหนือคันทางมักเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงฝนตกหนัก บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมของระบบปกคลุมแบบธรรมชาติ 3 รูปแบบได้แก่ 1) หญ้าแฝกและรั้วไม้ไผ่ 2) ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน 3) ระบบป้องกันคาปิลลารี ในแปลงทดลองฝั่งลาดเหนือคันทางทล. 1192 (กม. 11+500) จังหวัดเชียงใหม่ ความชันประมาณ 45 องศา สูง 10 เมตร ซึ่งเป็นดินคงค้างในที่จากหินแกรนิตมีการกัดเซาะรุนแรง ผลการศึกษาการตรวจวัดความชื้น แร่งดินน้ำคาบวกลบและลบน้ำฝน พบว่า ระบบป้องกันคาปิลลารีซึ่งประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพและวัสดุผสมรวมแอสฟัลต์รีไซเคิลสามารถป้องกันกัดเซาะได้ดีที่สุด และสามารถรักษาค่าแรงดูดในลาดดินได้อย่างดี และพบว่าการใช้เสาเข็มสกรูร่วมกับกระสอบแบบมีปีกและไม้ปักชำเพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ฐานเชิงลาดสามารถป้องกันการพังทลายของลาดดินระดับต้นได้อย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับลาดซึ่งไม่มีระบบป้องกัน

คำสำคัญ: ระบบปกคลุมดินแบบธรรมชาติ, การกัดเซาะดิน, ลาดเหนือคันทาง, ความชื้นดิน, ระบบตรวจวัดเชิงลาด

#### Abstract

Erosion problem of back slope occurs frequently during heavy rainfall. This paper presents the behaviour of nature-based slope cover systems, namely 1) vetiver system with bamboo fence, 2) erosion control blanket and erosion control log, 3) capillary barrier system at the back slope of highway no. 1192 in Chiangmai province. The 45 degree slope was about 10m high, consist of residual granitic soil which was highly erodible. The monitoring results of soil moisture, pore water pressure, suction and rainfall indicate that the capillary barrier system that utilizes biochar and recycled asphalt aggregate performed the

best, as shown by least erosion and highest suction preserved in the slope. It was also found that the screw pile and vegetated flapped soil bag could be effectively installed at the toe to reduce the toe erosion as compared to the slope section without the stabilizing system.

Keywords: Nature-based soil cover, Soil Erosion, Back Slope, Soil Moisture, Slope monitoring system

#### 1. คำนำ

โครงข่ายทางหลวงหลายพื้นที่ในประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือและบางพื้นที่ในภาคใต้ประสบปัญหาดินสไลด์ คันทางชำรุดเสียหาย ถนนถูกตัดขาดต้องปิดเส้นทางสัญจร ส่งผลกระทบต่อความสะดวกในการเดินทาง ความปลอดภัย ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุถึงแก่ชีวิต การสูญเสียทรัพย์สินของประชาชนและงบประมาณของประเทศ ทางหลวงบางสายทางเกิดปัญหาดินสไลด์รุนแรง และหรือซ้ำซากเป็นประจำทุกปี จากการศึกษาโดย [1, 2] พบว่าการพังทลายของเชิงลาดสามารถจำแนกได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) น้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (Erosion at toe slope) 2) การกัดเซาะผิวน้ำเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง 3) การเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด 4) หินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว มักเกิดขึ้นตามระดับความไม่ต่อเนื่องของหิน (Rock discontinuity) ดังแสดงในรูปที่ 1

จากข้อมูลสถิติการพิบัติในอดีต [1] พบว่า การพิบัติจากสาเหตุในรูปแบบที่ 1) และรูปแบบที่ 2) มีสถิติเท่ากับ 61% (จากการรวบรวมข้อมูลการพิบัติ 74 กรณี) โดยรูปแบบที่ 1 และ 2 มีสาเหตุหลักจากน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (Erosion at toe slope) ทั้งกรณีฐานของเชิงลาดคันทาง (Side slope) คันทางริมแม่น้ำบริเวณโค้งน้ำที่มีกระแสน้ำ

รุนแรง บริเวณปลายรางระบายน้ำในลาด และปลายลาดเหนือคันทาง (Back slope) การกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางเหล่านี้มักเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่สะสม เกิดการไหลบ่าในคุุระบายน้ำและท่อระบายน้ำซึ่งเกิดการอุดตันด้วยตะกอนทำให้น้ำไหลล้นทางระบาย (Overflow) และกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด ปัญหาการกัดเซาะนี้อาจเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป หากไม่ป้องกันแก้ไขอย่างทันการณ้ก็จะเกิดการเสียหายขนาดใหญ่ได้ดังรูปที่ 1 (รูปย่อยที่ 2 และ 3)



รูปที่ 1 การพิบัติของเชิงลาดรูปแบบต่างๆในงานทาง

การแก้ไขปัญหาการกัดเซาะและการพิบัติระดับตื้นเชิงลาดด้านเหนือคันทาง (Back slope) โดยทั่วไปวิศวกรมักจะคุ้นเคยกับการคาดคองกรีตด้วยเทคนิค Shotcrete แต่อย่างไรก็ดีในอดีตที่ผ่านมาพบว่าการพิบัติของโครงสร้างคาดคองกรีตบ่อยครั้ง โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งผิวเชิงลาดเป็นหินผุ มีลักษณะเป็นดินทรายมีน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝน ส่งผลให้คอนกรีตที่พันไว้เกิดการหลุดตัวและแตกร้าวได้ ทำให้เกิดโพรงภายใต้ Shotcrete อย่างไรก็ดีในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแนวทางแก้ไขการกัดเซาะเชิงลาดโดยวิธีธรรมชาติ (Nature-based solution) เป็นการประยุกต์ใช้พืชพรรณร่วมกับเทคนิคการคลุมดินทางวิศวกรรมต่างๆ อาทิ [4-5] ซึ่งจำเป็นต้องมีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบดังกล่าวในพื้นที่จริงโดยอาศัยการตรวจวัดพฤติกรรมด้วยอุปกรณ์วัดต่างๆ การศึกษานี้นำเสนอผลการจัดทำแปลงศึกษาการป้องกันการกัดเซาะบริเวณเชิงลาดเหนือคันทาง ทล. 1192 ช่วงกม. 11+500 จ.เชียงใหม่ ซึ่งเป็นการศึกษาโดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 2. แปลงศึกษาทล. 1192 ช่วงกม. 11+500 จ.เชียงใหม่

### 2.1 ข้อมูลพื้นฐาน

แปลงศึกษาทล. 1192 อยู่บริเวณช่วงกม. 11+500 (พิกัด 18°30'36.57"N 98°25'50.18"E) การคัดเลือกแปลงศึกษาได้พิจารณาเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ให้เป็นตัวแทนของปัญหาการกัดเซาะและพังทลายระดับตื้นของเชิงลาดในพื้นที่ทางหลวงบริเวณภาคเหนือ พื้นที่แปลงมีลักษณะธรณีวิทยาหินแกรนิต ผันเฉลี่ยรายปี 1300 มม. พบการพิบัติจากการกัดเซาะด้าน Back slope หลายตำแหน่ง (รูปที่ 2) บริเวณด้านลาดเหนือคันทาง (Back slope) ลาดมีความชันในช่วง 45-60 องศา หน้าดินไม่มี

ความเชื่อมแน่น เกิดจากหินแกรนิตผุ จึงถูกชะล้างพังทลายได้ง่ายเมื่อน้ำฝนไหลซึมลงไปหรือน้ำไหลบ่า จึงพบร่องรอยการกัดเซาะแบบร่อง (Rill) และร่องลึก (Gully) และบางจุดพบการเลื่อนไถลระดับตื้น (Shallow slide) หากไม่ป้องกันแก้ไข อาจส่งผลให้เสาไฟฟ้าด้านบนพังทลายลงมาเกิดความเสียหายรุนแรงได้ แปลงศึกษานี้สามารถใช้ศึกษาพฤติกรรมได้อย่างต่อเนื่อง และใช้เป็นที่ศึกษาดูงานและนำไปขยายผลได้

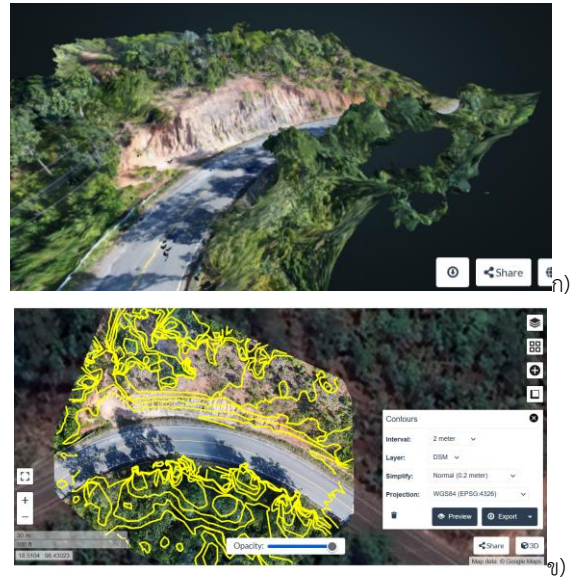


รูปที่ 2 สภาพการกัดเซาะและชะล้างพังทลายของพื้นที่ ก่อนการจัดทำแปลงศึกษา

### 2.2 ลักษณะภูมิประเทศ สภาพชั้นดินและผลการทดสอบในสนาม

#### 2.2.1 การสำรวจภูมิประเทศ

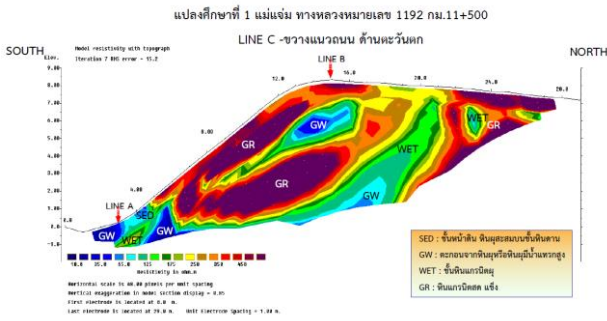
ในการศึกษานี้ได้สำรวจภูมิประเทศจากภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับ สามารถนำมาสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เส้นชั้นความสูง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการสำรวจภูมิประเทศโดยอากาศยานไร้คนขับ สภาพพื้นที่ก่อนการก่อสร้างแปลงศึกษา 1192

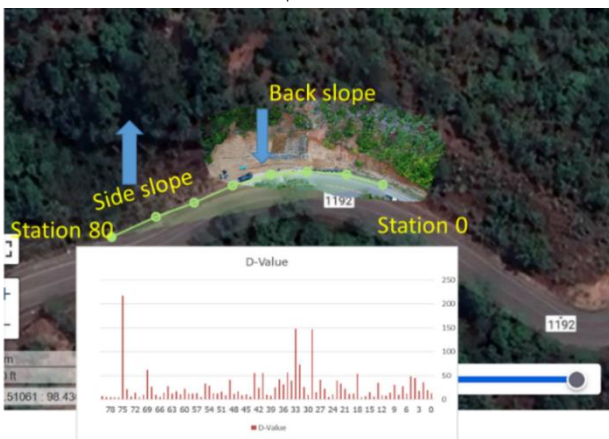
2.2.2 การสำรวจธรณีฟิสิกส์

ผลการสำรวจลักษณะชั้นดินและน้ำใต้ดินด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์วิธี Resistivity ของแปลงศึกษา ทล. 1192 (กม. 11+500) ส่วนลาดเหนือคันทาง (Back slope) แสดงดังรูปที่ 4 พบชั้นวัสดุที่มีค่า Resistivity ต่ำแสดงถึงหินที่มีความชื้นสูงบริเวณฐานของเชิงลาดที่ความลึกประมาณ 1 เมตร สอดคล้องกับลักษณะการพังทลายแบบชะล้างที่ฐาน (Toe erosion) ที่พบในสนาม



รูปที่ 4 ผลการสำรวจลักษณะธรณีวิทยาด้วยวิธี Resistivity แปลงศึกษาทล. 1192 (กม. 11+500) ส่วนลาดเหนือคันทาง (Back slope)

นอกจากนี้ยังได้ทดสอบโดยการฟังเสียงน้ำใต้ดิน (Groundwater Aeration Sound, GAS Survey) [5] แสดงผลดังรูปที่ 5 พบว่ามีตำแหน่งที่มีเสียงน้ำใต้ดินชัดเจนที่สุด หรือค่า D-Value สูงสุด ดังแสดงด้วยลูกศรบริเวณขอบของแปลงศึกษา เป็นการกัดเซาะมากที่สุดบริเวณฐานเชิงลาดเช่นกัน เป็นการยืนยันข้อสังเกตจากผลการทดสอบ Resistivity

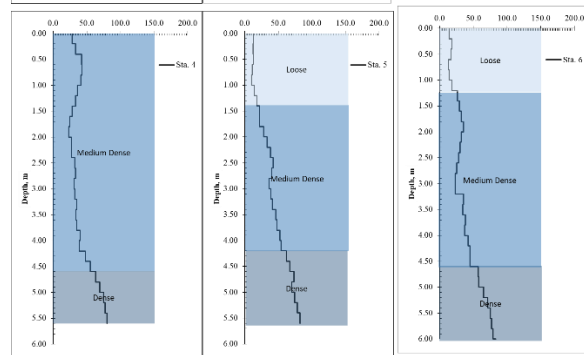
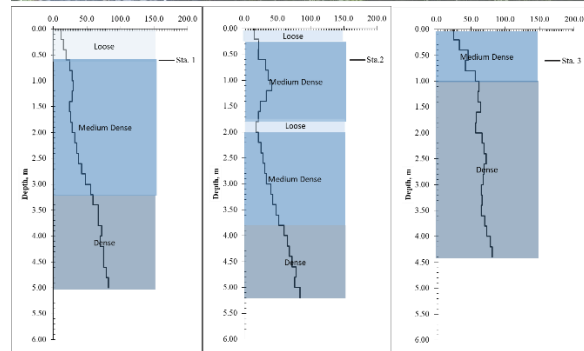


รูปที่ 5 ผลการสำรวจน้ำใต้ดินด้วยวิธี GAS Survey แปลงศึกษา ทล. 1192

2.2.3 การเจาะสำรวจและตอกหยั่งด้วยวิธี Kunzelstab

ผลการเจาะสำรวจพบชั้นดินทรายปนดินเหนียว (Clayey sand, SC) มีค่า Plasticity Index อยู่ในช่วง 9-18% ความแข็งแรงของชั้นดินทดสอบในที่โดยการตอกหยั่งด้วยวิธี Kunzelstab แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 6 จากผลการตอกหยั่ง KPT พบว่าบริเวณลาดเหนือคันทาง (Back slope) ชั้นดินหลวมมีความหนาอยู่ในช่วง 1-1.5 เมตรที่ด้านบนลาด (จุดทดสอบ 4-5) ในขณะที่บริเวณฐานลาด (จุดทดสอบ 1-3) พบชั้นดินหลวมในช่วงลึก 0-0.6

เมตร เท่านั้น ลักษณะชั้นดินนี้สอดคล้องกับรูปแบบการพังทลายระดับตื้น (Shallow slide) และการกัดเซาะที่ผิวดินซึ่งสังเกตได้ในพื้นที่

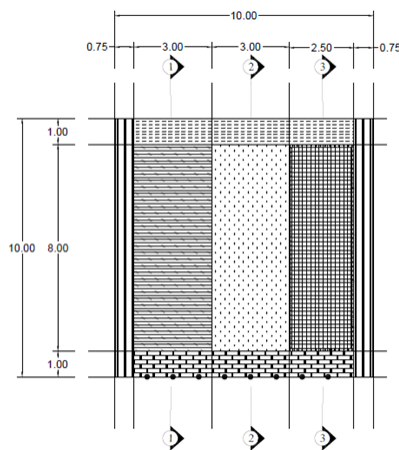


รูปที่ 6 ตำแหน่งและผลการตอกหยั่งชั้นดินด้วยวิธี Kunzelstab สำรวจน้ำใต้ดินด้วยวิธี GAS Survey แปลงศึกษา ทล. 1192

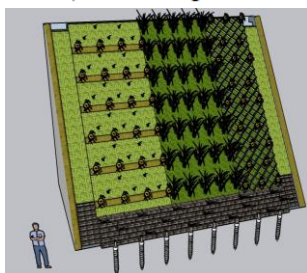
2.3 รูปแบบแปลงศึกษา

จากผลการตรวจสอบสภาพพื้นที่ดังกล่าว ผู้ศึกษาได้ออกแบบแปลงดังแสดงในรูปที่ 7 แปลงศึกษามีความยาวตามแนวเอียง 10 เมตร ความชันประมาณ 45 องศา โดยออกแบบเพื่อเสริมเสถียรภาพของลาดที่บริเวณฐาน (Toe stabilization) โดยใช้เสาเข็มสกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มม. ผลิตจากเหล็กกล้ารีดเย็น ชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน (Hot dipped galvanized) ติดตั้งลึก 1.6 เมตร ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1 เมตร เมื่อติดตั้งเสาเข็มบริเวณฐานแล้วจึงเรียงกระสอบแบบมีปีก [6-8] สูง 1 เมตร ตามแนวเอียงพร้อมเรียงกล้าไม้ (Live stake) ต้นเฟืองฟ้าขนาดยาว 1 เมตร แทรกตามรอยต่อระหว่างกระสอบทุกระยะ 50 ซม. เพื่อป้องกันการกัดเซาะบริเวณฐานและรากพืชจะช่วยเสริมแรงบริเวณด้านหลังกระสอบได้ต่อไป

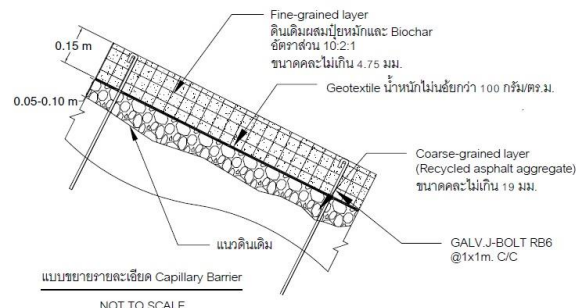
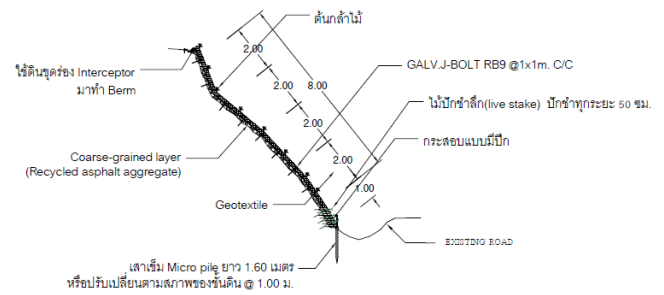
ในส่วนเชิงลาดเหนือกระสอบมีปีก ได้แบ่งแปลงศึกษาเป็นสามแปลงย่อย คือ 1) ECB (Erosion control blanket) ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน (ระยะห่างระหว่างหมอน 2 เมตร) ปรับปรุงดินได้ผ้าห่มดินด้วยไบโอชาร์และปุ๋ยหมัก โรยเมล็ดหญ้ารูซี่ และปลูกหญ้าแฝกเหนือหมอนกันดิน 2) VS (Vetiver system) ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวบนแนวรั้วไม้ไผ่ (ระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร) ปรับปรุงดินในรั้วไม้ไผ่ด้วยไบโอชาร์และปุ๋ยหมัก และ 3) CBS (Capillary barrier system) หรือระบบป้องกันคาปิลลารี โดยปุ๋ยวัสดุกากมิลลิ่งแอสฟัลท์ (Recycled Asphalt Aggregate, RAA) บนลาดชันแล้วปูทับด้วยแผ่นสังเคราะห์จีโอเทกซ์ไทล์ จากนั้นติดตั้งวัสดุตารางจีโอเซลล์ (Geocell) แล้วจึงบรรจุดินผสมไบโอชาร์ในช่องตารางพร้อมปลูกพืชในช่อง ระบบ CBS นี้ใช้หลักการที่วัสดุเม็ดหยาบ (กากมิลลิ่ง RAA) มีคุณสมบัติไม่นำน้ำเมื่ออยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อน้ำฝนตกลงบนเชิงลาดจากถูกกักเก็บไว้ในชั้นบนซึ่งเป็นดินผสมไบโอชาร์เม็ดละเอียด เป็นแนวคิดที่พัฒนาต่อยอดจาก [9] โดยนำมาปรับใช้กับวัสดุที่เหลือใช้ในประเทศไทย ได้แก่ ไบโอชาร์แกนซั่วโพด ซึ่งได้จากสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) แกนซั่วโพดในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ เป็นการช่วยลดการเผาเศษซังซั่วโพดในท้องซึ่งเป็นต้นตอของปัญหามลพิษ PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือ และวัสดุกากมิลลิ่ง RAA ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้ง แต่มีคุณสมบัติพิเศษคือการกั้นน้ำ (Hydrophobicity) ซึ่งเป็นประโยชน์หากสามารถนำมาใช้ซ้ำได้ตามหลักการของ Bio-Circular-Green (BCG) Economy



- Flapped soil bag
- Erosion control blanket with log and live stake
- Vetiver
- Capillary barrier system
- Slope drain
- Interceptor drain
- เสาค้ำเสริมเหล็ก Micro pile ยาว 1.60 เมตร @ 1.00 ม.



รูปที่ 7 รูปแบบแปลงศึกษา ทล. 1192 ด้านลาดเหนือคันทาง



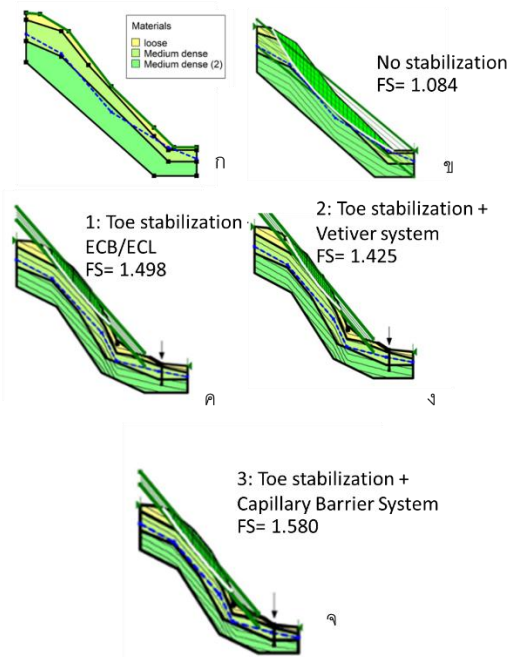
รูปที่ 8 รายละเอียดแปลงย่อย 3 (Capillary barrier system CBS)

#### 2.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพ

ในการศึกษานี้ ได้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดด้วยวิธี Limit equilibrium เพื่อเปรียบเทียบเสถียรภาพของลาดแปลงศึกษาทั้งสภาพก่อนและหลังมีระบบเสถียรภาพ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 9 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์จากผลการทดสอบในสนาม และผลการวิจัยโดย [10-13] สำหรับสมบัติของดินเสริมรากพืช กระสอบมีปีกและเสาค้ำเสริมสกรูสรุปในตารางที่ 1 จากผลการวิเคราะห์ เห็นได้ว่าค่า Factor of safety ก่อนการเสริมเสถียรภาพมีค่า  $FS = 1.084$  ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการกัดเซาะและพังทลายระดับต้นที่พบจริงในสนาม และเมื่อเสริมเสถียรภาพแล้ว  $FS$  มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 40-50% โดยเสาค้ำเสริมและกระสอบมีปีกพร้อมไม้ปักชำทำหน้าที่เสริมเสถียรภาพบริเวณฐานลาดและทำให้วงการพิบัติมีตำแหน่งสูงขึ้นด้านบน และรากพืชช่วยเสริมแรงในดินจากการเพิ่มค่า cohesion และลดแรงดันน้ำในช่องว่างดินลงได้ พบว่ารูปแบบแปลงแบบต่าง ๆ ให้ค่า  $FS$  ใกล้เคียงกันทั้งสามแปลงศึกษาภายหลังเสริมเสถียรภาพ โดยแปลง CBS (รูปที่ 9จ) มีค่า  $FS$  สูงสุด เท่ากับ 1.580 อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองสามารถใช้การเปรียบเทียบกับการตรวจวัดในสนาม อาทิ การเคลื่อนตัว และระดับการกัดเซาะในสนามดังจะได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3 ต่อไป

ตารางที่ 1 สรุปพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด

Layer	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (degree)	Cohesion (kPa)
Loose	17	30	5
Medium dense	19	32	8
Medium dense (2)	20	34	10
Vetiver zone	18	34	11
Flapped soil bag	18	57	5
ECB (1cm thick)	17	30	10
Geocell	18	34	30
Screw pile	Shear force = 4 kN		



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด

### 2.5 ขั้นตอนการก่อสร้าง

ขั้นตอนการจัดทำแปลงศึกษาทล. 1192 ด้านลาดเหนือคันทาง มีรายละเอียด ดังรูปที่ 10 ดังนี้

- 1) ทำการติดตั้งเสาเข็มเหล็ก (Screw Pile) เพื่อเสริมเสถียรภาพ และเป็นแนวค้ำยันกระสอบแบบมีปีก
- 2) ปรับพื้นที่สำหรับจัดทำแปลงศึกษา
- 3) กรอกดินใส่กระสอบแบบมีปีกเตรียมไว้
- 4) ติดตั้งหมอนกันดิน โดยการเจาะร่องเพื่อเป็นแนวในการติดตั้งหมอนกันดินและชุดช่องสำหรับปลูกหญ้าแฝก ใช้หมุดไม้ไผ่ในการตอกหนีบเพื่อยึดหมอนกันดินไว้ ติดตั้งหมอนกันดินโดยเว้นระยะห่าง 2 เมตร และทำรั้วไม้ไผ่ชั้นระหว่างแนวหมอนกันดินเพื่อช่วยในการเก็บดินปลูกบริเวณลาดดิน
- 5) โรยดินปลูกและเมล็ดหญ้าและทำการปูผ้าห่มดิน โดยชุดร่องสำหรับฝังปลายผ้าห่มดินและใช้เป็นร่อง Interceptor ผสมวัสดุปลูกและ

Biochar โรยดินปลูกผสม Biochar และเมล็ดหญ้า ปูผ้าห่มดินคลุมลาดดิน และแนวหมอนกันดินโดยใช้หมุดไม้ไผ่ในการตอกยึด และ ปลูกหญ้าแฝก ด้านหลังแนวหมอนกันดิน

- 6) ชุดร่อง Slope drain ปูผ้าห่มดินลงในร่องระบายน้ำ จัดทำแนวรั้วไม้ไผ่ ใส่วัสดุปลูกลงด้านหลังแนวรั้วไม้ไผ่ และปลูกกล้าไม้
- 7) ปลูกหญ้าแฝกบริเวณโดยทำแนวรั้วไม้ไผ่บริเวณที่มีการกัดเซาะหน้าดินลึกเพื่อชะลอการกัดเซาะหน้าดิน ปลูกหญ้าแฝก
- 8-9) จัดทำแปลง Capillary Barrier System โดยเติม Recycled Asphalt ลงในร่องกัดเซาะและติดตั้งแผ่น Geotextile และชุดร่องระบายน้ำ ติดตั้งตาข่ายคลุมดิน (Geocell) ปลูกต้นกล้าไม้และหญ้าแฝกลงใน Geocell และเติมวัสดุปลูก
- 10-11) เรียงกระสอบแบบมีปีกบริเวณฐานของลาดดิน โดยปรับพื้นที่สำหรับเรียงกระสอบแบบมีปีก เรียงกระสอบแบบมีปีก เรียงกระสอบแบบมีปีก เรียงกระสอบแบบมีปีก
- 12) เก็บรายละเอียด ตรวจสอบความเรียบร้อย



รูปที่ 10 ขั้นตอนการจัดทำแปลงศึกษาทล. 1192

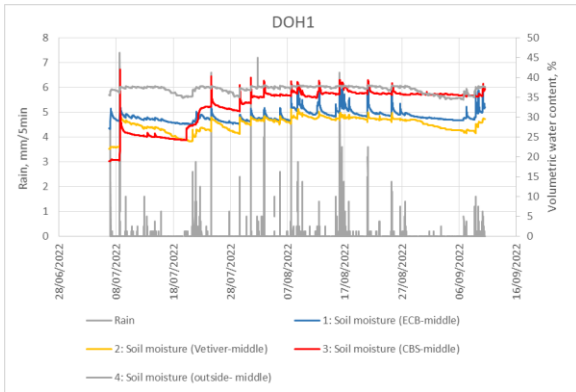
### 3. อุปกรณ์ตรวจวัดและผลการศึกษา

ในการศึกษานี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมสู่เชิงลาดและการเคลื่อนตัว ดังแสดงในรูปที่ 11 ประกอบไปด้วย เกจวัดน้ำฝน (Rain gauge) เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) สำหรับวัดแรงดันน้ำค่าบวกและลบ (แรงดูด) ในช่วงความลึก 0.5 -1.25 เมตร เซนเซอร์วัดความชื้น (Soil moisture sensor) ติดตั้งที่ความลึก 0.1 เมตร และ เซนเซอร์วัดการเคลื่อนตัวที่ผิวดินชนิดทิวมิเตอร์ (Tiltmeter) เป็นการวัดเอียงตัวของท่อเหล็กที่ตอกฝังลงในผิวดินลึก 0.7 เมตร เพื่อแสดงถึงการเคลื่อนตัวของลาดในระดับพื้น

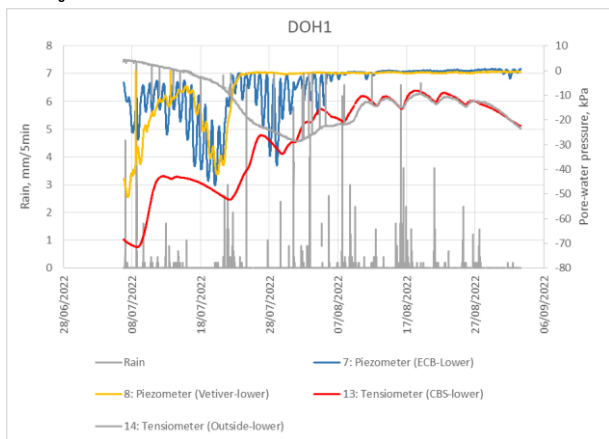


รูปที่ 11 ตำแหน่งและการติดตั้งอุปกรณ์วัด

ผลการตรวจวัดพฤติกรรมด้านการไหลซึมของลาดแสดงดังรูปที่ 12 และ 13 เห็นได้ว่าความชื้นผิวดินในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม ถึง กันยายน 2565) กรณีลาดไม่มีการปกคลุม (outside) มีค่าสูงกว่า กรณีแปลงคาบิลลารีแบรริเออร์ (CBS) และสูงกว่าแปลงผ้าห่มดิน (ECB) และสูงกว่าแปลงหญ้าแฝก (Vetiver system) ลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการที่ดินผสมวัสดุไบโอชาร์มีแนวโน้มเก็บความชื้นไว้สำหรับให้พืชเติบโตได้ อย่างไรก็ตามในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงพบว่าความชื้นระหว่างแถวหญ้าแฝกและลาดซึ่งไม่มีการปกคลุมมีแนวโน้มระเหยได้เร็วกว่าแปลงอื่นๆ ซึ่งคลุมผ้าห่มดินและใช้ระบบ CBS ปกคลุม



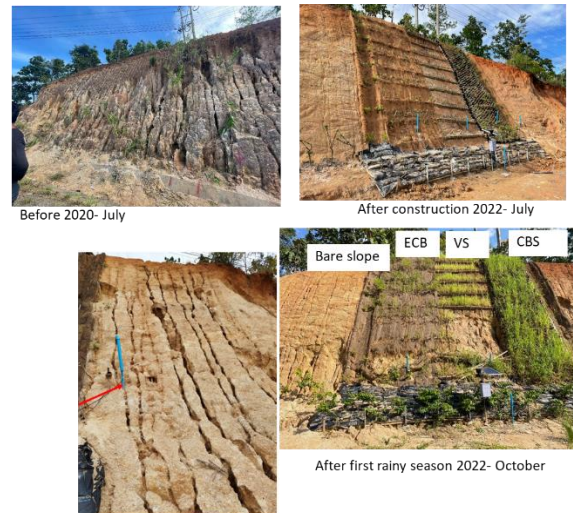
รูปที่ 12 ค่าความชื้นที่ผิวดิน (0.1ม.) ในแปลงศึกษา และปริมาณฝน



รูปที่ 13 ค่าความแรงดันน้ำในดิน ในแปลงศึกษา และปริมาณฝน

สำหรับค่าแรงดันน้ำใต้ดินที่ความลึก 0.5-1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่า ค่าแรงดันน้ำใต้ดินคาบิลลารีแบรริเออร์ (CBS) มีแนวโน้มต่ำกว่าแรงดันน้ำในกรณีไม่ปกคลุม และน้อยกว่าแปลงผ้าห่มดิน (ECB) และแปลงหญ้าแฝกตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงหน้าที่ของวัสดุปกคลุม CBS ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้แรงดันน้ำใต้ดินมีค่าสูงเกินไป โดยค่าแรงดันน้ำใต้ดิน CBS มีค่าติดลบหรือเป็นแรงดูด (Suction) ซึ่งช่วยเสริมเสถียรภาพของลาดไว้ได้

ลักษณะการเสียหายของผิวเชิงลาดภายหลังฤดูฝนของแปลงซึ่งไม่มีการใช้วัสดุปกคลุมแสดงดังรูปที่ 14 ซึ่งสอดคล้องกับค่าตรวจวัด โดยเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้วัสดุปกคลุมแบบธรรมชาติช่วยป้องกันการกัดเซาะได้ดีกว่าเชิงลาดที่ปราศจากวัสดุปกคลุมอย่างมาก โดยระบบ CBS มีพืชพรรณและหญ้าขึ้นเต็มพื้นที่และสามารถป้องกันการกัดเซาะได้ดีที่สุด มากกว่าระบบผ้าห่มดินและระบบหญ้าแฝก อย่างไรก็ตามการก่อสร้างด้วยระบบ CBS จะสูงที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้ระบบผ้าห่มดินและหญ้าแฝกที่เสียหายจากการกัดเซาะก็สามารถแก้ไขได้โดยง่ายเพียงนำผ้าห่มดินขึ้นไปติดตั้งใหม่หรือปลูกหญ้าแฝกซ่อม ซึ่งเป็นข้อดีของเทคนิคธรรมชาติ (Nature-based solution) เหล่านี้ซึ่งมีศักยภาพในการฟื้นฟู (Resilience) ได้ดีกว่าวัสดุปกคลุมเชิงลาดแบบเชิงเช่นการใช้คอนกรีตตายอย่างมาก



รูปที่ 14 สภาพแปลงศึกษา ก่อนและหลัง (ECB = ผ้าห่มดิน, VS = หญ้าแฝก และ CBS = ระบบป้องกันคาบิลลารี)

#### 4. บทสรุป

การกัดเซาะเชิงลาดเหนือคันทาง (Back slope) มักเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงฝนตกหนัก และนำไปสู่การทับถมระดับต้นและลึกได้หากไม่ซ่อมบำรุง บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการใช้ระบบปกคลุมแบบธรรมชาติ (Nature-based solution) 3 รูปแบบได้แก่ 1) หญ้าแฝกและริ้วไม้ไผ่ (Vetiver system) 2) ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน (ECB) 3) ระบบป้องกันคาบิลลารี (CBS) ในแปลงทดลองฝั่งลาดเหนือคันทางทล. 1192 (กม. 11+500) จังหวัดเชียงใหม่ ความชันประมาณ 45 องศา สูง 10 เมตร ซึ่งเป็นดินคงค้างในที่จากหินแกรนิตที่มีการกัดเซาะรุนแรง ผลการศึกษาพบว่า ระบบป้องกันคาบิลลารีซึ่งประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพและวัสดุผสมรวมแอสฟัลต์รีไซเคิล มีพืชปกคลุมที่เติบโตได้ดีที่สุด และสามารถรักษาแรงดูดหรือแรงดันน้ำค่าลบไว้

ในลาดได้สูงสุด และป้องกันกัดเซาะได้ดีที่สุด และพบว่าการใช้เสาเข็มสกรูร่วมกับกระสอบแบบมีปีกและไม้ปักขาเพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ฐานเชิงลาดสามารถป้องกันการพังทลายของลาดดินระดับตื้นได้อย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับลาดซึ่งไม่มีระบบป้องกัน

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งให้การสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวง. (2551). คู่มือการบำรุงรักษาทางหลวงเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด. สำนักวิจัยและพัฒนา งานทาง
- [2] กรมทางหลวง (2565) รายงานขั้นสุดท้าย โครงการศึกษาเทคโนโลยีตรวจวัด ติดตาม เตือนภัย และบริหารจัดการความเสี่ยงภัยพิบัติดินสไลด์ ใน โครง ข่ า ย ท าง หล ว ง โดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ <http://km.doh.go.th/km-web/public/knowledge/N6S61tUzpp>
- [3] Gray, D. H., & Sotir, R. B. (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. John Wiley & Sons
- [4] อภินิติ โขติสังกาศ. (2556). ชีววิศวกรรมปฐพี เพื่อควบคุมการชะล้างพังทลายของลาดและดินถล่ม Soil-bioengineering: Use of vegetation and soil engineering for erosion control and slope stabilization จำนวน 264. (น. ISBN: 978-616-91792-1-4).
- [5] อภินิติ โขติสังกาศ, ไกรโรจน์ มหรรณพกุล และ นิพนธ์ ธีระชัยกุลพานิช (2558) เทคโนโลยีสำรวจการไหลซึมน้ำใต้ดินด้วยเสียงในงานวิศวกรรมปฐพี การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 จ. ชลบุรี
- [6] ชิตพล วงศ์สกุลเกียรติ, อภินิติ โขติสังกาศ, อรทัย จงประทีป และ ศิรประภา ปิติภัทรบูรณ์ (2564) การวิเคราะห์ความคงทนของกระสอบพลาสติกแบบมีปีก การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564
- [7] สีนินารถ ชาวสวน, อภินิติ โขติสังกาศ, สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว, ไกรสิทธิ์ หวานเสริม (2563) การศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของกระสอบพลาสติกแบบมีปีก งานประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ 3 วันที่ 28 พฤศจิกายน 2563
- [8] อภินิติ โขติสังกาศ, ดำเนิน เชียงพันธุ์, ไกรโรจน์ มหรรณพกุล, อธิจิต สุขปัญญา, นรินทร์ ทรราชย์นันท์, เจนพล พลังธนสุกิจ, และ วรากร ไม้เรียง (2562) การเสริมเสถียรภาพลาดตลิ่งโดยวิธีชีววิศวกรรมปฐพี กรณีศึกษาบ้านผามูบ อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24 วันที่ 10-12 กรกฎาคม 2562 จ. อุตรดิตถ์ หน้า 1441-1447

- [9] Rahardjo, H., Krisdani, H. & Leong, E.C. (2007) Application of unsaturated soil mechanics in capillary barrier system. Proc. 3rd Asian Conference on Unsaturated Soils (Unsat-Asia 2007), Nanjing, China. pp 127-137.
- [10] Latha, G. M., Rajagopal, K., & Krishnaswamy, N. R. (2006). Experimental and theoretical investigations on geocell-supported embankments. International Journal of Geomechanics, 6(1), 30.
- [11] Rajamanthri, K., Jotisankasa, A., Aramrak, S. (2021) Effects of Chrysopogon zizanioides root biomass and plant age on hydro-mechanical behavior of root-permeated soils. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 7:36; 1-13; <https://doi.org/10.1007/s40891-021-00271-0>
- [12] ไกรโรจน์ มหรรณพกุล (2563) สมบัติของดินเสริมแรงด้วยรากที่มี ความอึดตัวแปรผัน วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ดุสิตบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [13] ประกิต ไชยศรี, อภินิติ โขติสังกาศ, สรวิต สุขเวทย์, พิสิฐ ศรีวรานันท์, อิชย์ ศิริประเสริฐ และ ไกรสิทธิ์ หวานเสริม (2564) การแก้ปัญหาลาดคันทางวิบัติโดยวิธีชีววิศวกรรมปฐพี: กรณีศึกษา ถนนทางหลวงชนบท กจ.4088 กม 16+700 อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564